Ueber nichtmetallische Einschlüsse in schweren Schmiedestahlblöcken

Von der

Technischen Hochschule Breslau

zur Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs genehmigte

Dissertation.

Vorgelegt von

Dipl.-Ing. Franz Latta

aus Beuthen O. S.

Referent:
Prof. Dr. Sauerwald

Korreferent:
Prof. Diepschlag

Tag der mündlichen Prüfung: 22. Juli 1932.

*20212

Ueber nichtmetallische Einschlüsse in schweren Schmiedestahlblöcken.

Von der

Technischen Hochschule B r e s l a u

zur

Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs

genehmigte

D i s s e r t a t i o n .

Vorgelegt von

Dipl.-Ing. Franz Latta

aus Beuthen O.S.

Referent:
Prof. Dr. Sauerwald.

Korreferent:
Prof. Diepschlag.

Tag der mündlichen Prüfung: 22. Juli 1932.

---

1 9 3 3

Allgemeine Schreibstube, Braunschweig, Schöppenstedterstraße 19.

Vorliegende Arbeit wurde im Stahlwerk, Schmiedepreßwerk, in den Bearbeitungswerkstätten und der Versuchsanstalt der Vereinigten Oberschlesischen Hüttenwerke A.G. Abteilung Stadtwerke Gleiwitz ausgeführt.

Es sei mir gestattet, an dieser Stelle Herrn Generaldirektor Dr.-Ing. e.h. R. B r e n n e c k e für die Genehmigung zur Durchführung der Arbeit meinen ergebensten Dank auszusprechen, ebenso wie der Direktion der Stadtwerke, Herrn Direktor K ö n i g .

Ferner gehört mein Dank Herrn Direktor Dr.-Ing. E. K i l l i n g für seine Anregung und Förderung bei der Arbeit, in gleichem Maße meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. phil. F. S a u e r w a l d für sein lebhaftes Interesse und seine Hilfe.

Auch den Herren von den obengenannten Betrieben sei für die Unterstützung bei der Durchführung bestens gedankt.

Einleitung.

Das Vorkommen von Einschlüssen nichtmetallischer Beimengungen, insbesondere von Schlackeneinschlüssen, ist von größter wirtschaftlicher Bedeutung. Bei dem heutigen Brauch bei Abnahme und Materialprüfung führt das Vorkommen von Schlakkeneinschlüssen in sehr vielen Fällen zur Verwerfung von Material und große Werte an diesem und vor allem an Aufwendung von Bearbeitungskosten gehen deshalb verloren. Bei der Inangriffnahme von Untersuchungen zur Lösung dieser Fragen müssen zwei Hauptgesichtspunkte richtunggebend sein. In erster Linie müßte naturgemäß die Frage gelöst werden, ob und in welchem Umfange Schlackeneinschlüsse überhaupt gefährlich sind und in welchem Maße sich diese Gefährlichkeit auswirkt. Es besteht bis jetzt hinsichtlich dieses grundsätzlichen Punktes keineswegs eine Einstimmigkeit, vielmehr widersprechen sich die verschiedenen Ansichten. Die Ansicht der Gefährlichkeit der Einschlüsse schlechthin, die bei der Abnahme meist bestimmend ist, steht z.B. durchaus in Widerspruch zu Untersuchungen über Dauerbrüche an Kurbelwellen, bei welchen ein unmittelbarer Zusammenhang zwischen Dauerbruch und Einschlüssen positiv nicht nachgewiesen werden konnte [1) 2)]. Dieses Problem ist im Zusammenhang mit der vorliegenden Untersuchung auch in Angriff genommen worden. Es wurden untersucht die Streckgrenze, Festigkeit, Dehnung, Kontraktion und Dauerfestigkeit von Material mit Einschlüssen von mikroskopisch feststellbaren Dimensionen. Die Ergebnisse gaben keinen Anhalt für einen Einfluß der Einschlüsse auf die genannten Eigenschaften und lassen daher die Notwendigkeit erkennen, diese Frage weiter zu verfolgen, damit nicht Einschlüsse, die ohne Einfluß auf die Eigenschaften sind, Anlaß zu unwirtschaftlicher Verwerfung von Material geben. Der zweite Gesichtspunkt, von dem aus die Untersuchung der Einschlüsse behandelt werden muß, kann in der Frage zusammengefaßt werden: Wie entstehen die Einschlüsse und wie können sie vermieden, bezw. auf ein Mindestmaß beschränkt werden? Sie steht im Zusammenhang mit der physikalischen und chemischen Untersuchung der Stahlerzeugungsprozesse, wie sie in der letzten Zeit [3) 4)] in stärkerem Maße für notwendig gehalten wird. Ebenso wie eine frühere Untersuchung [5)], sollte auch diese Arbeit insbesondere einen Einblick darin verschaffen,

1) Luftfahrtforschung. 8, (1930) Heft 4.
2) Matthaes, Maschinenbau (1930) S.118.
3) F.Sauerwald, Arch. Eisenhüttenwes. 4 (1930/31) S.361 u. Physikalische Chemie der metallurgischen Reaktionen, Springer, Berlin 1930.
4) H.Schenk, St.u.E. 51 (1931) S.197.
5) Latta, Killing und Sauerwald, Kohle u. Erz 29 (1932) S.61/6.

wieweit die physikalischen und chemischen Eigenschaften der auftretenden Phasen beim Entmischen und bei Vermittlung der chemischen Vorgänge eine Rolle spielen können. Diese zweite Frage wird nun im Folgenden auch ausführlich behandelt.

Ueber die Entstehung und Zusammensetzung der mit bloßem Auge (evtl. gerade noch) erkennbaren Einschlüsse - ihr Aussehen ähnelt etwa den von F. H a r t m a n n im Archiv Eisenhüttenwesen 4 (1930/31) S.601, Tafel 1 gegebenen Darstellungen - ist im Schrifttum vielfach berichtet worden [6) 7) 8)]. Sie können zum großen Teil auf Desoxydationsprodukte zurückgeführt werden, besonders wenn sie im wesentlichen aus Oxyden und Silikaten bestehen. Tritt Tonerde dazu, so kann die Bildung dieser Einschlüsse sowohl auf Al als Desoxydationsmittel, wie auch auf ff.feinste Teilchen oder deren Reaktion mit dem Stahl und dessen Desoxydationsprodukten zurückgeführt werden. Der von D a e v e s [9)] angeführte Versuch über die Einwirkung von Ferromangan auf einen feuerfesten Stein beweist die Möglichkeit des Vorliegens von Reaktionsprodukten aus Bestandteilen des Stahles mit feuerfestem Material, schließt jedoch die Möglichkeit des Vorliegens von reinen Desoxydationsprodukten nicht aus. Fehler, die von reinen feuerfesten Stoffen, oder reiner mitgerissener Ofenschlacke herrühren, sollen im Nachstehenden nicht behandelt werden. In Zahlentafel 1 sind die typischen möglichen Fälle von Einschlüssen angeführt.

Zahlentafel 1.

Analysen von Einschlüssen.

Fe%	Mn%	SiO_2%	Al_2O_3%	CaO%	MgO%	Cr_2O_3%		
3.90	1.86	14.50	2.50	60.80	7.00	-	mitger.Ofenschlacke	in der Arbeit nicht behand.
0.58	Sp.	81.10	13.00	Sp.	0.00	-	reine, feuerfeste Stoffe	
5.33	37.2	31.60	12.70	0.00	0.00	-	Reaktionsprodukte	
10.50	34.3	24.40	0.00	0.00	0.00	17.00	reines Desoxydationsprodukt.	

6) C. Benedicks u. H. Löfquist: Non-metallic inclusions in iron and steel (London: Chapmann u. Hall 1930)
7) Larsen, Metals Alloys 1 (1930) No.15, S.703/13; No.16, S.763/68; No.17, S.819/25.
8) Schenk, St. u. E. 50 (1930) S.1782.
9) Daeves, St. u. E. 52 (1932) S.1162/68.

Die Untersuchungen, die sich auf unlegiertes Schmiedematerial mit etwa 50 - 70 kg F den Din. 1661 entsprechend beziehen, sind an feststehenden 25 - 30 t basischen Siemens-Martin-Oefen normaler Bauart mit ca. 4 t Stundenleistung vorgenommen worden. Beheizung war Generatorgas mit 220 kg Brennstoff/t Stahl, bei guter oberschlesischer Generatorkohle mit 6600 - 6800 W.E. Die beobachteten Blöcke hatten 7.5 - 30 t Gewicht; Anzahl und Abmessungen sind aus Zahlentafel 2 zu ersehen.

Zahlentafel 2.

Anzahl der abgegossenen Blöcke und Abmessungen der verwendeten Blockformate.

Blockzahl	Blockgewicht t	Schlüsselweite oben m/m	Schlüsselweite unten m/m	Blockhöhe ohne Haube m/m	Haube m/m
3	7.5	675	755	2400	800
5	17.0	890	960	2900	750
26	25.0	970	1100	3100	750
5	30.0	1280	1380	2770	765

Die Blöcke wurden zu einfachen, geraden Wellen und Flanschwellen bis zu 18 t Rohgewicht (und einem äußeren Durchmesser bis zu 500 m/m) und 4 - 8 hübigen Kurbelwellen von 4 - 14 t Rohgewicht verschmiedet.

Das Abdrehen in den eigenen Bearbeitungswerkstätten geschah auf folgende Weise: Die einfachen geraden Wellen und Flanschwellen wurden zunächst auf eine Schnittzugabe von ca. 7.5 mm vorgeschruppt und dann geglüht. Nach dem Glühen wurde auf eine Schnittzugabe von 3 mm abgedreht; teilweise erfolgte darauf ein Nachdrehen mit feinem Vorschub auf 0.5 mm Zugabe und Schlichten auf Fertigmaß. Bei den Kurbelwellen wurden zunächst die entsprechenden Stellen für das Verdrehen ausgedreht. Nach dem Verdrehen und 1. Ausglühen wurden zuerst die Welle und dann die Hübe bis auf ca. 20 mm Zugabe im Durchmesser vorgeschruppt, die Welle vorgehobelt und bei Wellen mit Bohrung auch noch mit 10 mm Zugabe vorgebohrt. Dann wurde geglüht. Nach dem Glühen erfolgte nacheinander die Abnahme des Schruppspanes (bis 10 mm) und des Feinspanes (bis ca. 2.5 mm). Die Tatsache, daß nicht nur Kurbelwellen, sondern auch gerade und Flanschwellen in den Kreis der Beobachtungen gezogen wurden, dürfte in vorliegendem Falle keine wesentliche Rolle spielen, da bei allen Werkstücken der hier ausgewerteten Schmelzen, bei denen in inneren Zonen des Blockes Einschlüsse festgestellt wurden, diese auch weiter außen zutage traten. (Siehe auch Verteilung der Einschlüsse im Block, S.19).

Auf diese Weise wurden 75 Schmelzen, von denen die ersten 37 in dieser Arbeit im einzelnen ausgewertet sind, vom Beginn des Einsetzens über das Einschmel-

zen, das Ausarbeiten der Schmelze, die Desoxydation, den Abstich, das Abstehen und das Gießen eingehend verfolgt. Die 37 Schmelzen wurden dabei zu 39 Blöcken vergossen. Es wurden weiter - wobei auch die Lage eines Werkstückes im Block genau festgelegt wurde - die Vorgänge beim Schmieden und beim Abdrehen der Werkstücke eingehend beobachtet. Insbesondere wurde beim Abdrehen jedes Werkstück nach einer jeden Spannabnahme genau auf Einschlüsse abgesucht. Die Länge der beim Schmieden langgestreckten Einschlüsse beträgt bis zu 10 mm Größe, in seltenen Fällen sogar darüber. Dies würde bei kugeliger Form, d.h. im unverarbeiteten Block Teilchendurchmessern bis zu 1 mm entsprechen.

Bei dieser Beobachtungsmethode werden also nicht nur die Einschlüsse erfaßt, die unmittelbar im fertiggedrehten Stück liegen und zum Ausschuß führen, sondern auch diejenigen, die abgedreht und dadurch unschädlich geworden sind .

Klasseneinteilung.

Nach der Häufigkeit des Auftretens von Einschlüssen wurden die untersuchten Schmelzen in 3 Klassen eingeteilt, in Klasse 0, Klasse 1 und Klasse 2.

In Klasse 0, in den Abbildungen mit einem ausgefüllten Kreis bezeichnet (•), gehören diejenigen Schmelzen, deren Schmiedestücke vollkommen frei von Einschlüssen sind.

In Klasse 1, in den Abbildungen mit einem Kreis bezeichnet (o), gehören diejenigen Schmelzen, bei denen vereinzelte oder mehrere Einschlüsse festgestellt wurden.

In Klasse 2, in den Abbildungen mit zwei Kreisen bezeichnet (◎), gehören diejenigen Schmelzen, deren Schmiedestücke stellenweise zahlreiche, oder über den ganzen Block verteilte Einschlüsse aufweisen.

Die Schmelzen verteilen sich auf die einzelnen Klassen wie folgt:

Klasse 0:	14	Schmelzen
" 1:	13	"
" 2:	10	"

Wo dies zulässig erschien, wurden für jede Gruppe eines Faktors die Mittelwerte errechnet und dann die Mittelwerte aller drei Gruppen miteinander verglichen. Dadurch wurde es möglich, die beim Auftreten von Einschlüssen beteiligten Einflüsse herauszufinden. Es wurden, wie bereits oben erwähnt, 37 Schmelzen mit 39 großen Blöcken ausgewertet. Von Schmelze 27 ab wurden die gefundenen Erkenntnisse über den Zusammenhang zwischen Auftreten von Einschlüssen und Behandlung der Schmelze bereits bewußt angewandt. Es hat sich hierbei gezeigt, daß fast sämtliche Schmelzen von No.31 ab (insbesondere auch die hier zur Auswertung nicht mehr herangezogenen), bei denen die in vorliegender Arbeit festgestellten Ergebnisse auch im Verlaufe des Herstellungsprozesses angewandt wurden, praktisch Einschlüsse nicht

enthielten und in Klasse O eingruppiert werden konnten.

1. Ofenzustand.

Die Schmelzen stammen aus drei Oefen und fünf Ofenreisen. Abb. 1 zeigt, daß die Schmelzen der Klasse O zum weitaus größten Teil (= 73 %) auf die erste Hälfte der Ofenreise fallen und lässt eine deutliche Zunahme der Menge der Einschlüsse mit zunehmendem Ofenalter erkennen.

Der Grund für das stärkere Auftreten der Einschlüsse am Ende der Ofenreise ist ohne weiteres klar und in dem zum Schluß schlechteren Ofenzustand zu suchen. Die niedrigeren Verbrennungstemperaturen verursachen ein längeres Einschmelzen und dadurch eine stärkere Sauerstoffaufnahme, die auch noch durch den am Ende einer Ofenreise fast immer festzustellenden, durch Undichtheiten bedingten Luftüberschuß begünstigt wird. Ebenso läßt sich häufig die hohe Endtemperatur beim Abstich nicht mehr erreichen, wie dies zu beginnender Ofenreise der Fall ist.

Das Ergebnis ist das gleiche, das R e a g a n [10] festgestellt hat.

2. Der Einsatz.

In gleicher Weise wurden die Einsa[illegible]erhältnisse, die im Schrifttum [11] [12] [13] [14] [15] schon öfter besprochen sind, eingehend untersucht. Ein Einfluß auf das Auftreten von Einschlüssen wurde aber innerhalb der bei den untersuchten Schmelzen angewandten Grenzen nicht gefunden. Wenn insbesondere Einflüsse des Gesamtmangangehaltes im Einsatz und des Mangangehaltes im Roheisen, die in der Arbeit von D a e v e s [9] gefunden, hier nicht festgestellt werden, so mag dies daran liegen, daß die Gehalte nicht in denselben weiten Grenzen schwankten wie dort.

3. Die Schmelzdauer.

Die in Zahlentafel 3 dargestellten Ergebnisse über die Schmelzdauer (unterteilt in Einsatz- und Schmelzperiode und Fertigperiode) deuten darauf hin, daß ein schnelles Einsetzen und Einschmelzen günstig ist, die Dauer des Fertigmachens aber nur auf Kosten der Qualität verkürzt werden kann.

---

10) W.J.Reagan, Oakmont, Pa., Am.Inst.Min.Met.Eng.(Versammlung vom 23.-26.9.1930 in Chicago); vgl. St.u.E. 51 (1931) S.19.

11) C.H.Herty u. J.M.Gaines, Techn.Public.Nr.165,Class C, Nr.22 (1928) Am.Inst.Min.Met.Eng.; vgl. St. u. E.49 (1929) S.1057/59.

12) C.H.Herty, Proceedings of the Engineers Society of Western Pennsylvania, Bd.44, Nov.1928; vgl. Giesserei-Zeitung 26 (1929) S.143.

13) C.Benedicks u. H.Löfquist: Internat.Kongress f.d.Materialprüf.d.Technik, Amsterdam, 12.-17.9.1927; vgl. St. u. E.48 (1928) S.1828.

14) C.H.Herty jr. u. J.E.Jacobs, Blast Furnace and Steel Plant, 19 (1931) Nr.4, S.553/56; Nr.5, S.683/86; vgl. St. u. E.51 (1931) S.1592.

15) C.H.Herty jr.: Basic open-Hearth practice; Trans.Am.Soc.Steel Treat 11 (1927) S.569/82; vgl. St. u. E.49 (1929) S.1769.

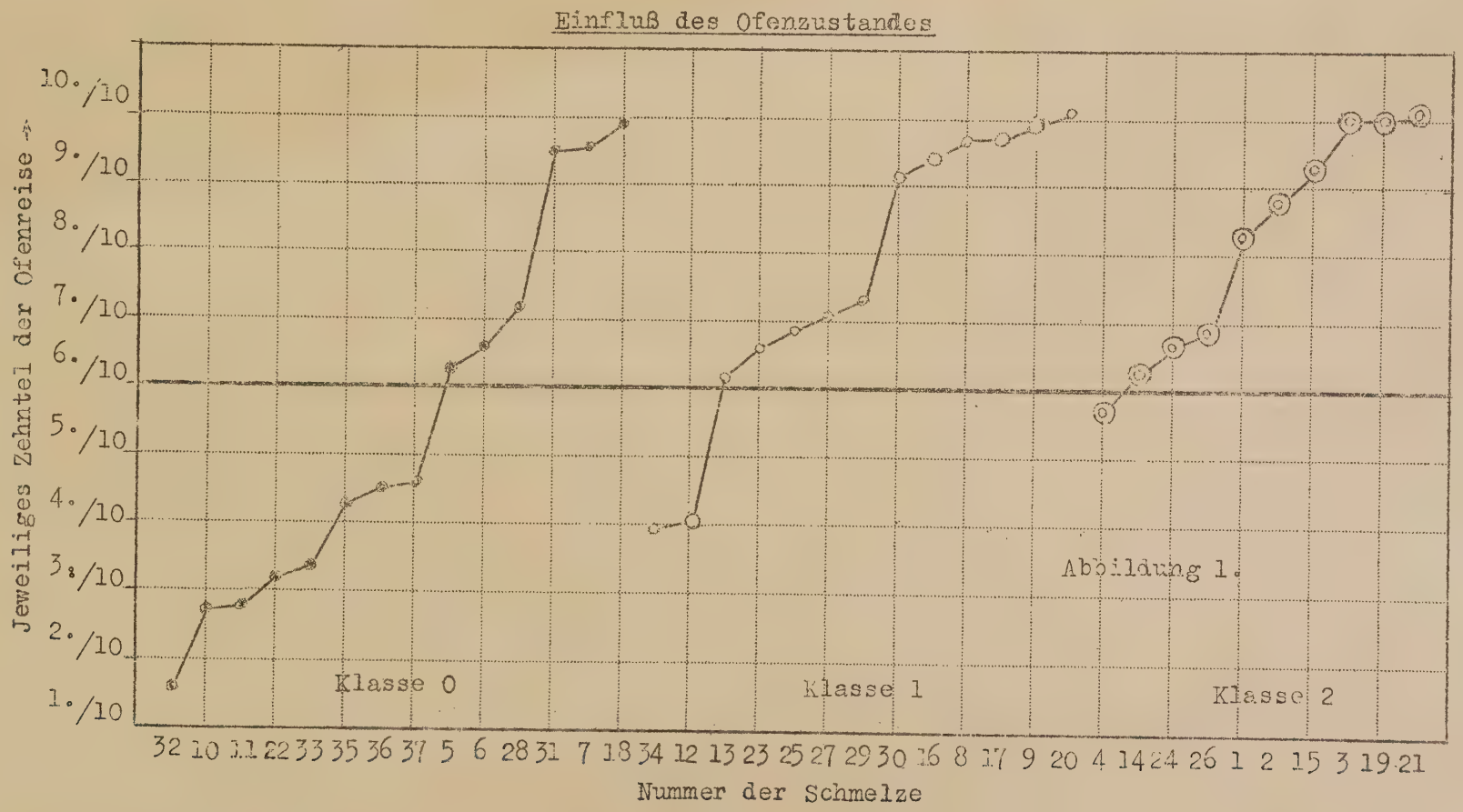
Einfluß des Ofenzustandes
Jeweiliges Zehntel der Ofenreise →
10./10
9./10
8./10
7./10
6./10
5./10
4./10
3./10
2./10
1./10
Klasse 0
Klasse 1
Klasse 2
32 10 11 22 33 35 36 37 5 6 28 31 7 18 34 12 13 23 25 27 29 30 16 8 17 9 20 4 14 24 26 1 2 15 3 19 21
Nummer der Schmelze

Abbildung 1.

Zahlentafel 3.

Einfluß der Schmelzdauer auf das Auftreten von Einschlüssen.

	Klasse 0	Klasse 1	Klasse 2	Differenz zwischen Klasse 0 u. Kl.2
Dauer des Einsetzens und Einschmelzens	4 h 25'	4 h 39'	4 h 44'	19' = - 7.2 %
Dauer des Fertigmachens	1 h 56'	1 h 48'	1 h 42'	14' = +13.7 %

4. Die Entkohlungsgeschwindigkeit.

Die wenigen für die Auswertung verwendbaren Zahlen lassen einen bestimmten Einfluß nur undeutlich hervortreten. (Siehe Zahlentafel 4). Er ist dahin zu deuten, daß eine zu hohe Frischgeschwindigkeit der Qualität des Materials, im Hinblick auf das Entstehen von Einschlüssen, nicht zuträglich ist.

Zahlentafel 4.

Einfluß der Entkohlungsgeschwindigkeit auf das Auftreten von Einschlüssen.

	Klasse 0 % pro Std.	Klasse 1 % pro Std.	Klasse 2 % pro Std.	Gesamtdurchschnitt % pro Std.
Entkohlungsgeschwindigkeit bis 15' nach letztem Erz	0.36	0.39	0.43	0.39
Weitere Entkohlungsgeschwindigkeit bis zur Desoxydation	0.23	0.24	0.19	0.22
Mittlere Entkohlungsgeschwindigkeit	0.31	0.32	0.38	0.33

5. Der Erzzusatz.

Er schwankte in den Grenzen von 0.2 - 4.0 %. Während die meisten Schmelzen aus Klasse 0 nur einen Erzverbrauch bis 2 % und im Mittel 1.75 % aufweisen, steigt der größere Teil der Schmelzen aus Klasse 2 über diesen Prozentsatz hinaus und hat im Mittel 2.25 %.

Aus Abb. 2 geht einwandfrei hervor, daß der Erzzusatz rechtzeitig vor der Desoxydation abgebrochen werden muß, wenn man nicht Gefahr laufen will, minderwertige Schmelzen zu erhalten. Bei 43 Minuten vor der Desoxydation wird hier

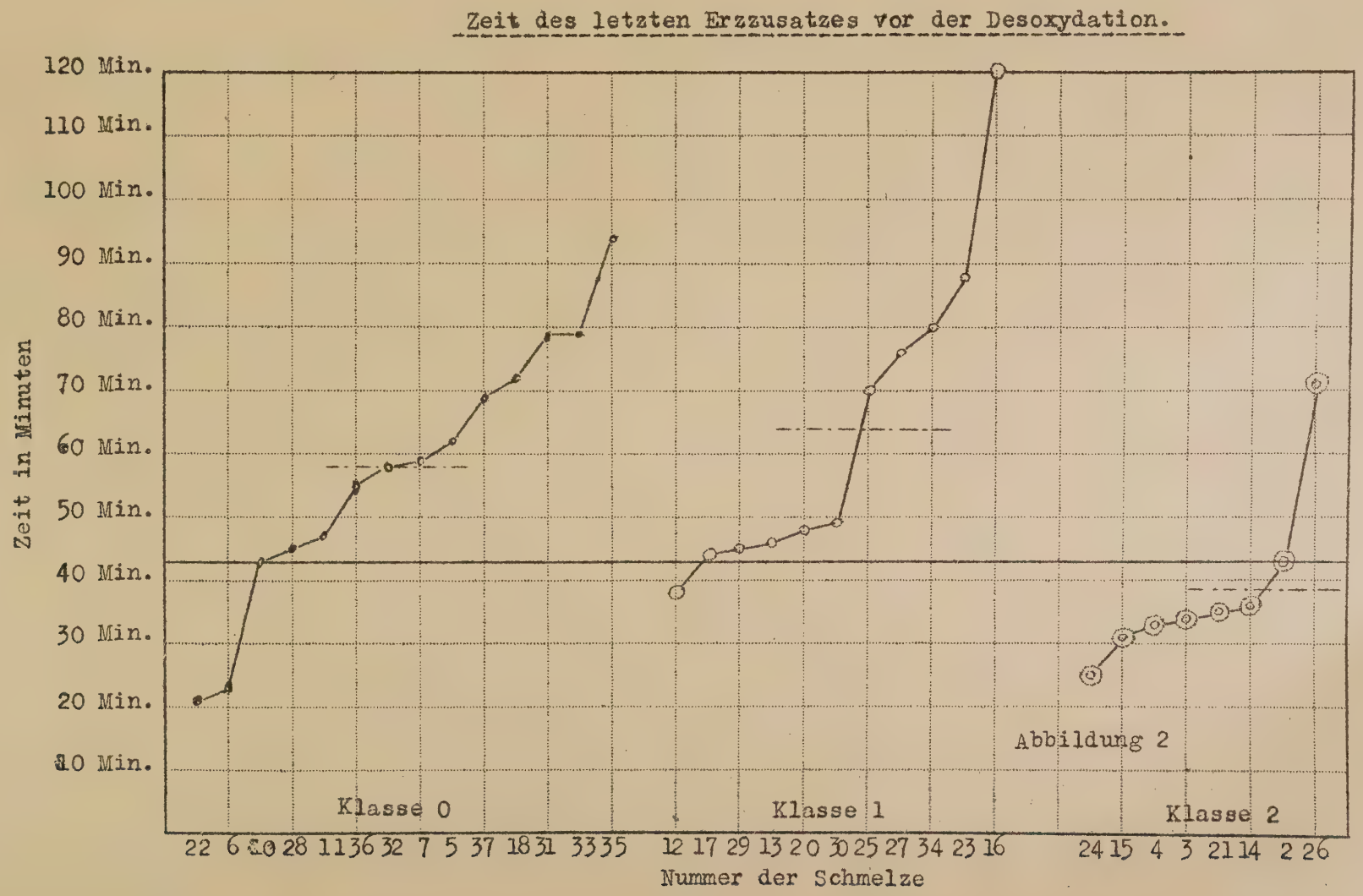
Zeit des letzten Erzzusatzes vor der Desoxydation.
120 Min.
110 Min.
100 Min.
90 Min.
80 Min.
70 Min.
60 Min.
50 Min.
40 Min.
30 Min.
20 Min.
10 Min.
Zeit in Minuten
Klasse 0
Klasse 1
Klasse 2
22 6 10 28 11 36 32 7 5 37 18 31 33 35 12 17 29 13 20 30 25 27 34 23 16 24 15 4 3 21 14 2 26
Nummer der Schmelze

Abbildung 2

eine Grenze gefunden, unterhalb derer der Erzzusatz noch ohne Gefahr erfolgen darf, deren Ueberschreitung sich aber später durch eine zu große Menge von Einschlüssen rächt. Diese Feststellung entspricht auch früheren Untersuchungen [16) 17) 18) 19)]. Aus den Untersuchungen von F e i l d ist zu schließen, daß das vor der Desoxydation sich ungefähr einstellende Gleichgewicht nicht durch Frischwirkungen unterbrochen werden soll. Dasselbe wird in den Arbeiten von S c h e n k zum Ausdruck gebracht.

6. Die Desoxydation.

Die Art und Menge der verwendeten Desoxydationszusätze geht aus Zahlentafel 5 hervor. Während bei den untersuchten Schmelzen ein Einfluß der Art (mit Ausnahme von Spiegeleisen, welches weiter unten beim Nachsetzen besprochen wird) und der Menge der zugesetzten Desoxydationsmittel nicht hervortritt [+)], ergibt die Betrachtung der zeitlichen Vorgänge bei der Desoxydation ein anderes Bild. Abb.3 gibt die Zeit des Ferromanganzusatzes zur Desoxydation vor dem Abstich wieder. (Einige Schmelzen, bei denen nach dem Hauptferromanganzusatz zur Einhaltung der Analyse noch kleinere Mengen Ferromangan oder Spiegeleisen nachgesetzt werden mußten, sind zunächst fortgelassen, da sie hierbei als anormal hergestellt betrachtet werden müssen). Wird die Zeitspanne zwischen Desoxydation und Abstich zu kurz bemessen, so ergeben sich minderwertige Schmelzen. Die Grenze, die hierbei nicht unterschritten werden darf, wird dabei bei 11 Minuten gefunden. Die Ursache hierfür dürfte darin zu suchen sein, daß die chemische Reaktion verschiedene Zeitspannen in Anspruch nehmen kann und bei längerer Reaktionsdauer für den rein mechanischen Vorgang der Abscheidung der Einschlüsse ungenügend Zeit zur Verfügung steht.

Schmelzen, bei denen Spiegeleisen oder Ferromangan nachgesetzt wurde (siehe Zahlentafel 5, Spalte 4 und 5), wiesen (mit einer Ausnahme) immer Einschlüsse auf, wobei auch ein zeitlicher Einfluß insofern zum Ausdruck kam, als die Mehrzahl dieser Schmelzen den Zusatz weniger als 11 Minuten vor dem Abstich erhielten. Der zweifellos schädliche Einfluß des Nachsetzens, besonders bei Gebrauch von Spiegeleisen, dürfte in noch unvollkommener Auflösung und dadurch bedingter grösserer Viskosität der Schmelze zu suchen sein.

---

16) A.L.Feild, Am.Inst.Min.Met.Engs.Frühjahrsversammlung in New-York v.20.-23.2. 1928; vgl. St. u. E.48 (1928) S.1341.
17) Schenk, Arch. Eisenhüttenwesen 3 (1929/30) S.571.
18) Schenk, St. u. E.50 (1930) S.953.
19) Kjerrman, Jernk.Ann.101 (1929) S.181/99; vgl. St. u. E.49 (1929) S.1346.
+) vgl. jedoch unsere früheren Feststellungen 5).

Zahlentafel 5.

Zuschläge zur Desoxydation (bzw. Analyse).

1	2			3			4			5			6		7		8	
Schmelze	Ferromangan (78 % Mn)			Siliziumeisen (10 % Si)			Spiegeleisen (11 % Mn			FeMn, nachgesetzt			Ferrosilizium (75% Si)		Sammellegierung (21,5% Si 21 % Al 13,3 % Mn)		Klasse	
	kg	%	Minuten vor Abstich	kg	%	Minuten vor Abstich	kg	%	Minuten vor Abstich	kg	%	Minuten vor Abstich	kg	%	kg	%		
1	140	0,57	8										92	0,40			2	◎
2	180	0,55	11										120	0,37			2	◎
3	150	0,62	7										97	0,40			2	◎
4	150	0,79	7										70	0,37			2	◎
5	180	0,76	11										95	0,41			0	●
6	150	0,67	12										83	0,37			0	●
7	220	0,91	11										80	0,33			0	●
8	170	0,71	12										95	0,40			1	○
9	160	0,66	11										97	0,40			1	○
10	80	0,35	22	40	0,17	20							80	0,35			0	●
11	100	0,38	16	25	0,10	13							95	0,36			0	●
12	90	0,35	15	45	0,17	8				10	0,04	2	95	0,37			1	○
13	100	0,38	12	50	0,15	11							95	0,37	14	0,05	1	○
14	225	0,67	12	60	0,17	10							110	0,33	20	0,06	2	◎
15	100	0,49	18	54	0,26	16	140	0,69	11	40	0,20	10	75	0,37	8	0,04	2	◎
16	170	0,67	15	56	0,22	14							90	0,35	8	0,03	1	○
17	170	0,66	14	50	0,19	9	60 80	0,23 0,31	7 1				90	0,35	8	0,03	1	○
18	250	0,80	19	50	0,16	16							110	0,36	10	0,03	0	●
19	110	0,42	18,5	50	0,19	16,5	70	0,27	11,5				90	0,34	8	0,03	2	◎
20	100	0,38	16,5	50	0,19	15,5	140	0,54	13,5	40	0,16	2,5	90	0,35	8	0,03	1	○
21	200	0,60	19	57	0,17	17							120	0,35	10	0,03	2	◎
22	100	0,38	16	51	0,19	14							90	0,34			0	●
23	80	0,30	15	50	0,19	14							90	0,34	8	0,03	1	○
24	200	0,57	18	65	0,19	15	120	0,34	14				120	0,34	10	0,03	2	◎
25	190	0,69	17	45	0,16	15							85	0,31	7	0,03	1	○
26	250	0,69	18	60	0,17	17							120	0,33	10	0,03	2	◎
27	130	0,48	19	60	0,22	17	40	0,15	8				85	0,31	8	0,03	1	○
28	130	0,48	16	50	0,18	15							85	0,31	7	0,03	0	●
29	135	0,49	16	60	0,22	15	75	0,27	14	15	0,04	1	90	0,33	7	0,03	1	○
30	140	0,52	3	50	0,18	1							100	0,37			1	○
31	180	0,65	16	50	0,18	13							100	0,36	6	0,02	0	●
32	175	0,63	16	50	0,18	12				25	0,09	11	95	0,35	7	0,03	0	●
33	210	0,77	18										90	0,33	8	0,03	0	●
34	160	0,59	18	60	0,22	15							95	0,35	6	0,02	1	○
35	140	0,53	16	50	0,19	13							100	0,37	8	0,03	0	●
36	110	0,36	15	50	0,16	13							115	0,38			0	●
37	170	0,63	15	50	0,19	13							90	0,33	8	0,03	0	●

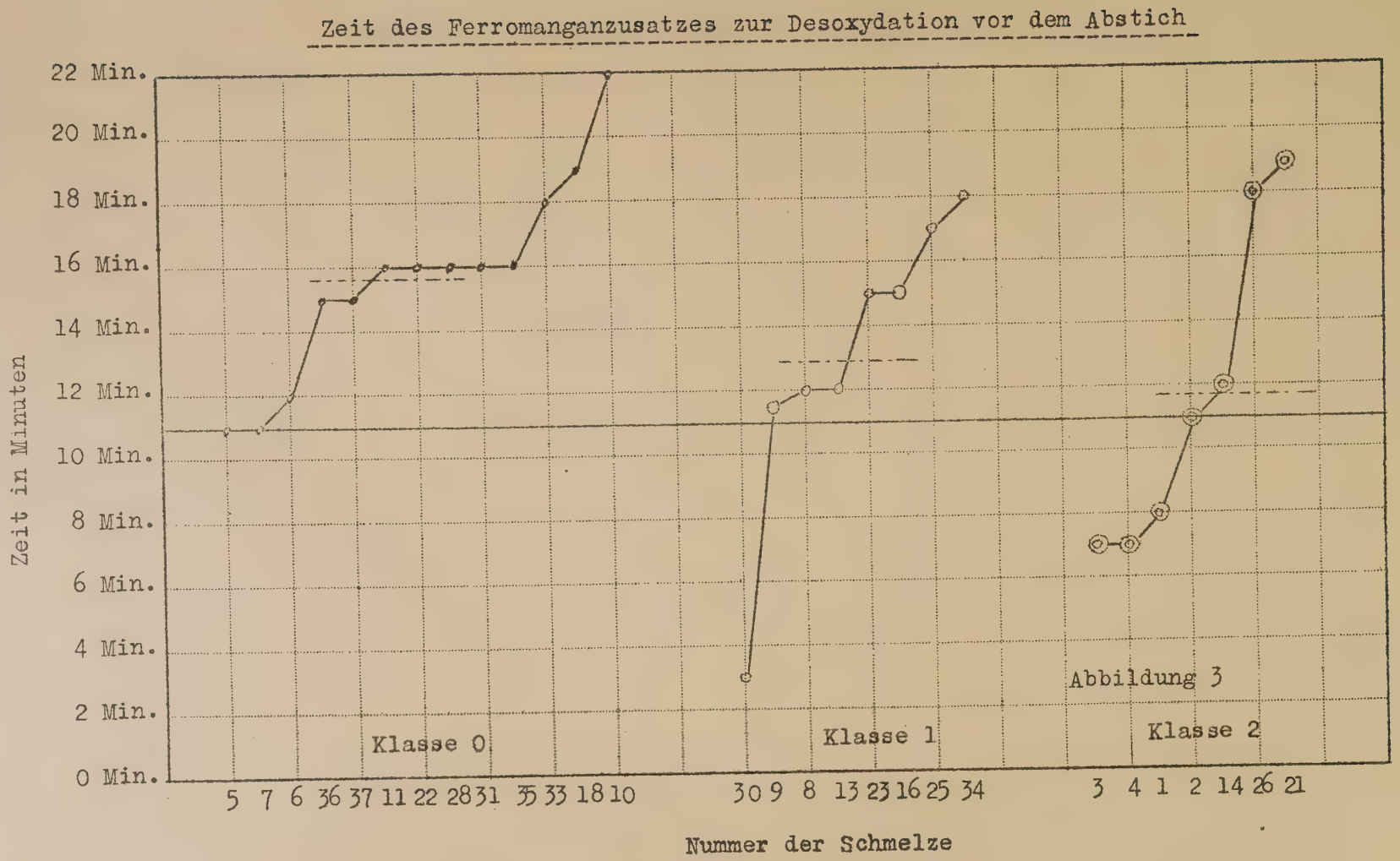
Zeit des Ferromanganzusatzes zur Desoxydation vor dem Abstich
22 Min.
20 Min.
18 Min.
16 Min.
14 Min.
12 Min.
10 Min.
8 Min.
6 Min.
4 Min.
2 Min.
0 Min.
Zeit in Minuten
Klasse 0
Klasse 1
Klasse 2
5 7 6 36 37 11 22 28 31 35 33 18 10
30 9 8 13 23 16 25 34
3 4 1 2 14 26 21
Nummer der Schmelze

Abbildung 3

Die Zeitspanne vom letzten metallischen Zusatz, der überhaupt in dem Ofen erfolgte, bis zum Abstich, also das ruhige Abstehen der Schmelze im Ofen, ist in Abb. 4 dargestellt. Hierin sind auch die oben zunächst fortgelassenen Schmelzen wieder enthalten. Es ist auffallend, daß unter 11 Minuten nur einschlußhaltige Schmelzen und keine einzige Schmelze der Klasse 0 anzutreffen sind. Dies weist darauf hin, daß diesem Einfluß größere Bedeutung beizumessen ist.

Auch in der Arbeit von K ö r b e r [20] wird bestätigt gefunden, daß die Zeit, die für die Erwärmung und Verteilung des Ferromangans im Bade erforderlich ist (Abstehzeit), einen merklichen Einfluß auf den Desoxydationsvorgang ausübt. Unter den anderen hiermit zusammenhängenden Angaben des Schrifttums, sei auf die Arbeiten von H e r t y [21) 22) 23) 24)], R e a g a n [10)] und M. C l a r k [25)] verwiesen.

7. Der Abstich.

In Abb. 5 sind die Werte für die Abstichgeschwindigkeit eingetragen, die bei allen Schmelzen auf die gleiche Stahlmenge(25 t Einsatz)umgerechnet sind. Es ist zu ersehen, daß zweifellos die Abstichgeschwindigkeit beim Entstehen bezw. Beseitigen der Einschlüsse beteiligt sein kann, indem große Abstichgeschwindigkeiten günstig, kleine dagegen ungünstig wirken. Dabei war es besonders von Bedeutung festzustellen, da3 mitgerissene Ofenschlacke bei großer Abstichgeschwindigkeit keine Verschlechterung des Materials hervorrief. Einer Reaktion zwischen Bad und Schlacke in der Pfanne wurde durch Absteifen der Pfannenschlacke mit Kalk vorgebeugt. Es ist anzunehmen, dass sich bei genügender Temperatur die mitgerissene Ofenschlacke während des nachfolgenden kurzen Abstehens in der Pfanne vom Stahlbad trennt.

Andererseits muß aus der ungünstigen Wirkung zu geringer Abstichgeschwindigkeiten geschlossen werden, daß beim Abstich eine verstärkte Sauerstoffaufnahme aus der Luft in das Metall stattfindet, die umso größer wird, je länger der Strahl mit der Luft in Berührung bleibt.

---

20) Körber, St. u. E. 52 (1932) S.133

21) C.H.Herty u. G.R.Fitterer, Min. and Met. Investigations Bull. No.36 (1928); vgl. St. u. E. 49 (1929) S.664/66.

22) C.H.Herty, G.R.Fitterer u. J.M.Byrns, Min. and Met. Investigations Bull No.46 (1930); vgl. St. u. E. 50 (1930) S.1230/32.

23) C.H.Herty, C.F.Christopher u. R.W.Stewart, Min. and Met. Investigations Bull Nr.38 (1930); vgl. St. u. E. 50 (1930) S.1433.

24) C.H.Herty u. G.R.Fitterer, U.S.Bureau Mines, Rep. Investigations Nr. 3081 (1931); vgl. St. u. E. 51 (1931) S.1174.

25) M. Clark, Transac. and Bull. of Am. Foundrym. Ass. von April 1930 S.18; vgl. Die Giesserei 1930, S.740.

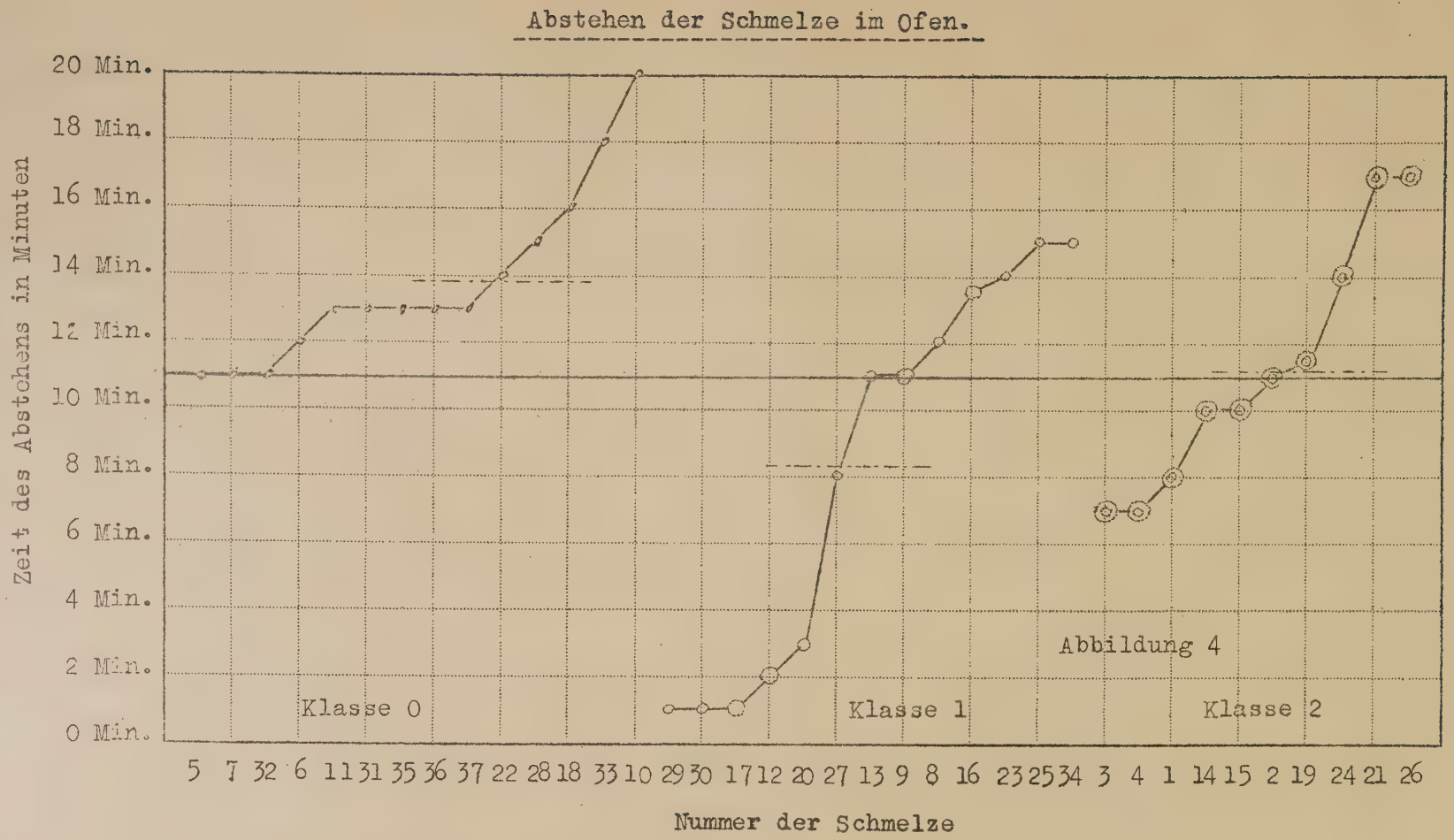
Abstehen der Schmelze im Ofen.
Zeit des Abstchens in Minuten
20 Min.
18 Min.
16 Min.
14 Min.
12 Min.
10 Min.
8 Min.
6 Min.
4 Min.
2 Min.
0 Min.
Klasse 0
Klasse 1
Klasse 2
5 7 32 6 11 31 35 36 37 22 28 18 33 10 29 30 17 12 20 27 13 9 8 16 23 25 34 3 4 1 14 15 2 19 24 21 26
Nummer der Schmelze

Abbildung 4

Ferner ist zu berücksichtigen, daß beim Abstich durch die Luft eine starke Kühlwirkung auf den Strahl ausgeübt wird, die naturgemäß umso intensiver wirkt, je dünner der Strahl läuft. Durch den stärkeren Temperaturabfall bei geringen Abstichgeschwindigkeiten kann eine zu große Viskosität des Stahles bewirkt werden, welche beim Abstehen in der Pfanne und beim Gießen der glatten Abscheidung der Einschlüsse hinderlich ist.

Ein Einfluß der Abstichtemperatur war deutlich dahin festzustellen, daß eine niedrige Temperatur sich ungünstig auswirkt.

(Klasse 0: 1485°, Klasse 1: 1470°, Klasse 2: 1450°).

Die Ergebnisse vorliegender Untersuchungen stützen also die Ansichten, die den Luftsauerstoff für eine Fehlerquelle halten [26) 27)], stehen aber im Gegensatz zu denjenigen, welche auch ein Mitreißen von Ofenschlacke für schädlich halten [26) 28) 29)].

8. Das Abstehen in der Pfanne.

Trotzdem die Abhängezeit bei dem größten Teil der untersuchten Schmelzen nur in engen Grenzen schwankte, kommt bei Betrachtung der Mittelwerte ihr günstiger Einfluß doch zum Ausdruck.

(Klasse 0: 7' 12", Klasse 1: 7' 10", Klasse 2: 5' 54").

Eingehende Versuche darüber von H e r t y [14)] und M e l m o t h [30)] gaben Ergebnisse in demselben Sinne, nur werden dort, wie auch an anderen Stellen [10)] längere Haltezeiten genannt.

9. Das Gießen.

Es ist hinreichend im Stahlwerksbetriebe bekannt, dass zur Erzeugung eines einwandfreien Stahls die größte Sorgfalt auf das Gießen verwendet werden muß [10) 33)]. Besonders bei der Vermeidung von Einschlüssen hat sich das Gießen als wichtig erwiesen. Die Ausscheidung der Einschlüsse ist von der Viskosität des Stahls und diese wiederum von der Temperatur, der chemischen Zusammensetzung, dem Gehalt an Sauerstoff und Gasen abhängig.

Die Blöcke wurden wie allgemein üblich ist, von oben gegossen. Zur Regelung der Temperatur und Abscheidung von Schlackenteilchen wurde eine Zwischenwanne eingeschaltet. Es war möglich, durch diese die Temperatur um ± 10° zu ändern. Die Temperaturen wurden in regelmäßigen Zeitabständen an dem aus der Pfanne und aus der Zwischenwanne laufenden Strahl gemessen. Verwendet wurde ein Pyropto von

26) Feszczenko-Czopiwski u. Orzechowski, Z.O.S.Berg- und Hüttenmänn.Verein 69 (1930) S.652.
27) Alberts, St. u. E. 51 (1931) S.117.
28) Pacher, St. u. E. 42 (1922) S.485.
29) Pacher, St. u. E. 49 (1929) S.627.
30) F.A.Melmoth, Transac.Bull.Am.Foundrym.Ass. vom Novb.1931 S.458/95; vgl. Die Giesserei 19 (1932) S.176.

Abstichgeschwindigkeit.

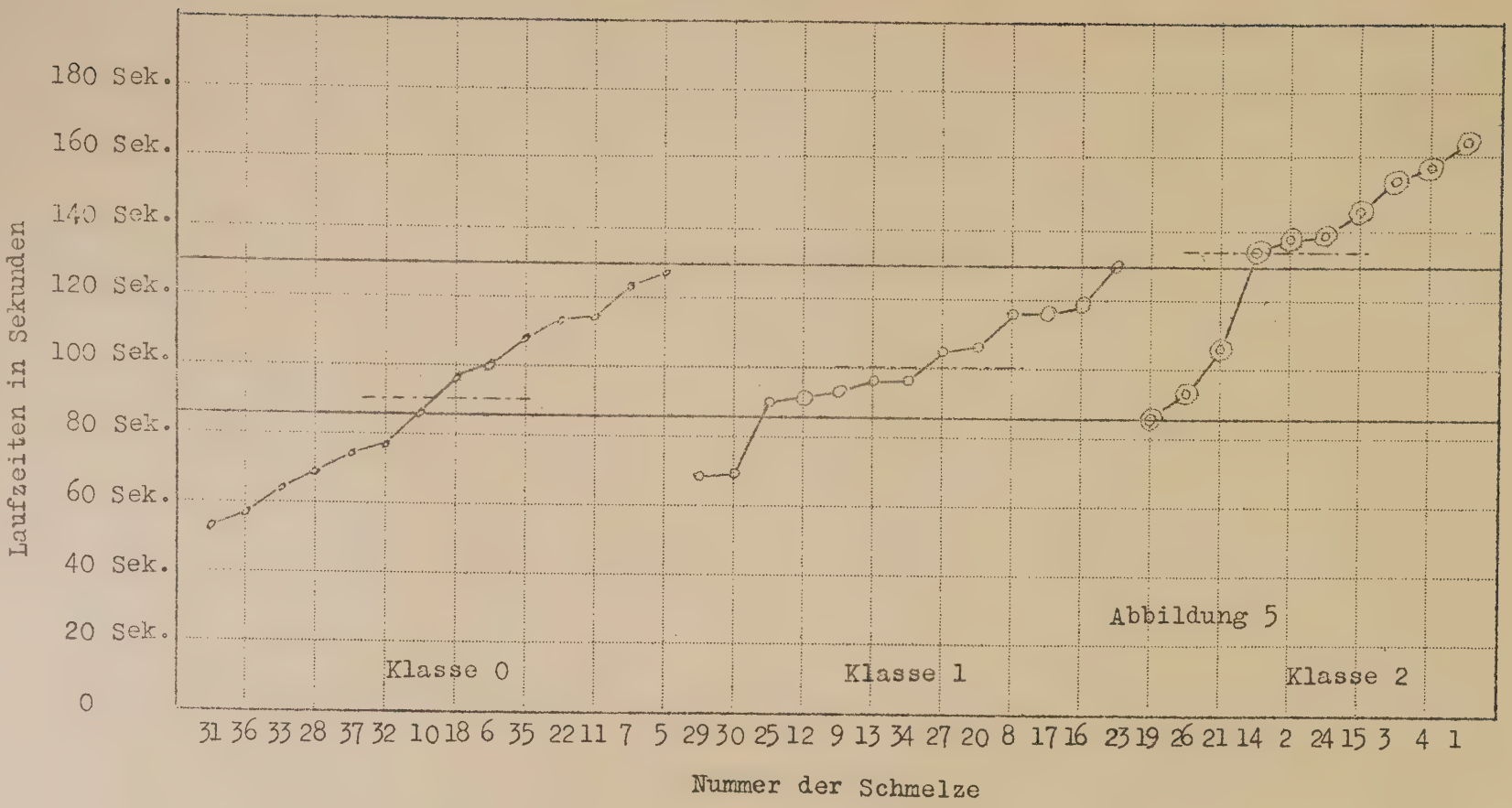

Abbildung 5

Hartmann u. Braun. Die Temperaturen sind unkorrigiert. Während des Gießens erfolgte regelmäßig ein schwaches Ansteigen der Temperatur, kurz vor dem Ende ein allmähliches Abfallen. Aus sämtlichen Messungen einer Schmelzung wurde das arithmatische Mittel gebildet und dieses für alle Schmelzen in Abb. 6 eingetragen. (Temp. unter der Zwischenwanne!) Es geht deutlich daraus hervor, daß mit fallender Gießtemperatur die Einschlußgefahr steigt. Die unterscheidende Gießtemperatur lag bei etwa 1380°, entsprechend etwa 1430° beim Strahl aus der Pfanne. Oberhalb 1380° sind Blöcke der Klasse 2 nicht mehr vorhanden. Es spielt bei Beurteilung der Gießtemperatur aber auch das Blockformat eine Rolle, da kleinere Formate etwas kälter vergossen werden können. (No. 36, 6, 18 und 10 in Abb.6).

Einen Anhaltspunkt für den Flüssigkeitsgrad und damit die Temperatur, gibt auch die Breite des sich auf der sonst klaren Blockoberfläche bildenden unklaren Randes. Er wurde ebenfalls in regelmässigen Zeitabständen beobachtet und abgeschätzt. Die Ergebnisse sind in Zahlentafel 6 zusammengestellt.

Zahlentafel 6.

Breite des sich beim Gießen ausscheidenden unklaren Randes.

	Klasse 0	Klasse 1	Klasse 2
oberstes Blockdrittel	90 m/m	140 m/m	340 m/m
mittleres "	160 "	190 "	325 "
unterstes "	165 "	175 "	350 "

Es ist einerseits das Ansteigen der Temperatur während des Gießens (Verringerung des Randes), andererseits die Zunahme der Randbreite von Klasse 0 zur Klasse 2 zu erkennen. Diese Beobachtungen dürfen aber nur als grobes Hilfsmittel gewertet werden und sind als solches nur brauchbar, solange der Strahl straff geführt, ruhig und zentrisch läuft.

Die Gießgeschwindigkeit ist abhängig von der Gießtemperatur.
Die normale Geschwindigkeit für die oben angegebenen Temperaturen beträgt etwa 1 t pro Minute. Größere Geschwindigkeiten als 1.04 t pro Minute erwiesen sich im Zusammenhang mit der niedrigeren Temperatur fast immer als unvorteilhaft.

Es wurden Ausgüsse von 35 mm und 40 mm Durchmesser verwendet, von denen die letzteren ein vorteilhafteres Gießen gestatteten.

Aus allem geht hervor, dass zur Vermeidung von makroskopischen Einschlüssen die Temperatur hoch genug gehalten werden muß. Jedoch wird einer beliebigen Steigerung der Gießtemperatur bei den vorliegenden Betriebsverhältnissen durch das Auftreten eines anderen, nicht weniger gefährlichen Fehlers, der sogenannten Schatten, eine Grenze gesetzt. Für das Vergießen vollkommen fehlerfreier Blöcke steht nur ein enges Temperaturintervall von etwa 20° zur Verfügung.

Die im

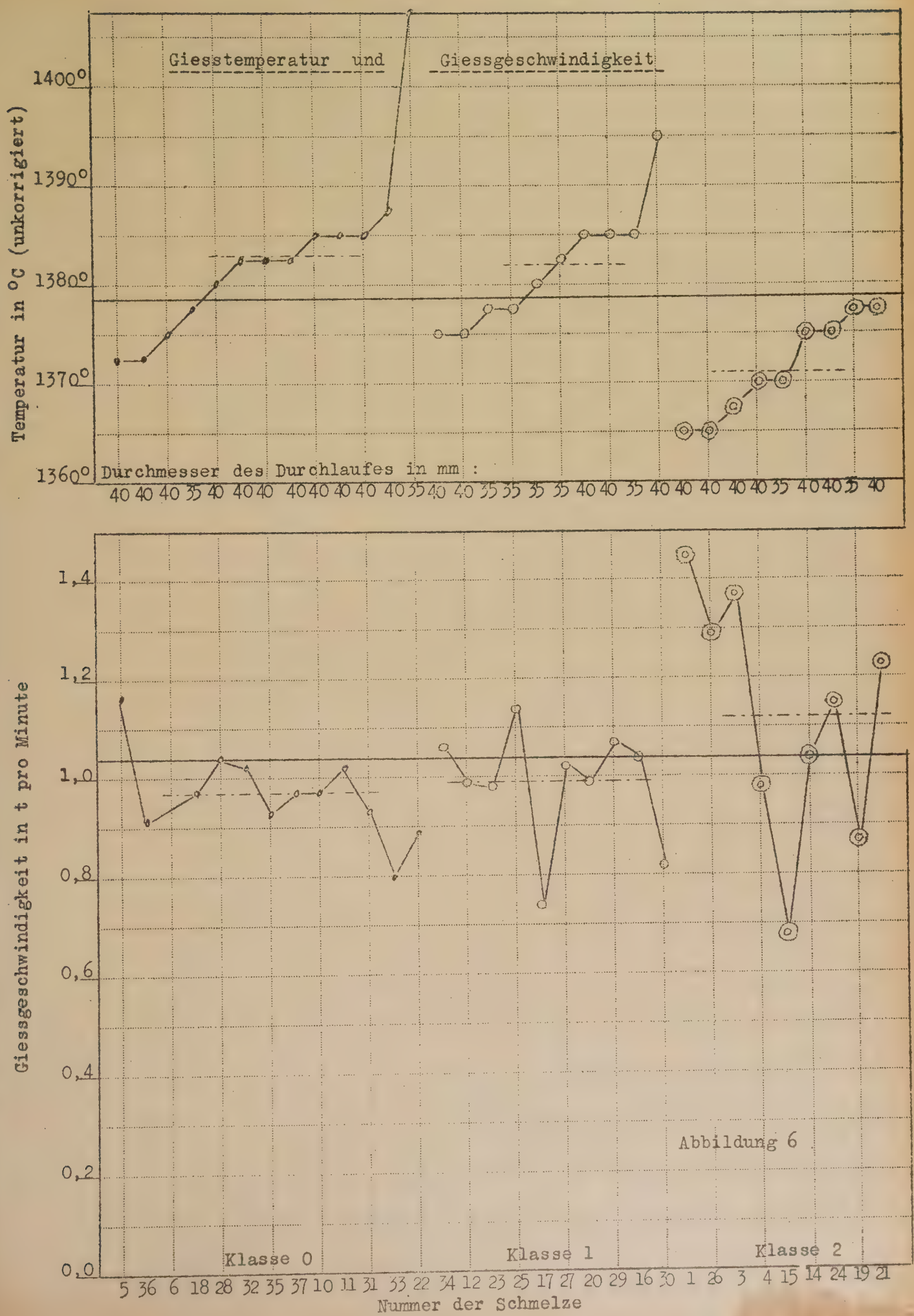
Giesstemperatur und Giessgeschwindigkeit
Temperatur in °C (unkorrigiert)
1400°
1390°
1380°
1370°
1360°
Durchmesser des Durchlaufes in mm :
40 40 40 35 40 40 40 40 40 40 40 40 40 35 40 40 35 35 35 35 40 40 35 40 40 40 40 40 35 40 40 35 40
Giessgeschwindigkeit in t pro Minute
1,4
1,2
1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
0,0
Klasse 0
Klasse 1
Klasse 2
5 36 6 18 28 32 35 37 10 11 31 33 22 34 12 23 25 17 27 20 29 16 30 1 26 3 4 15 14 24 19 21
Nummer der Schmelze

Abbildung 6

Schrifttum vorhandenen Angaben über den Einfluß des Gießvorganges auf das Auftreten von Einschlüssen, beziehen sich hauptsächlich auf die Temperatur. Pacher[28)29)], der allerdings die Einschlüsse zum größten Teil auf feuerfestes Material und beim Abstich fein zerstäubte Ofenschlacke zurückführt, nennt den die Abscheidung der Einschlüsse fördernden Einfluß höherer Temperatur. Auch in den Darstellungen von R e a g a n [10)] kommt eine deutliche Zunahme der Menge der Einschlüsse mit fallender Gießtemperatur deutlich zum Ausdruck. Benedicks, dessen Angaben sich auf Desoxydationseinschlüsse beziehen, verspricht sich von dem Abstehen und Gießen bei hoher Temperatur aus dem Grunde keinen Erfolg, weil die Löslichkeit der Schlacke mit höherer Temperatur steigt und beim Abkühlen erneut Schlackenteilchen ausgeschieden werden. B e i t t e r [31)] empfiehlt zur Vermeidung von nichtmetallischen Einschlüssen ein mattes, langsames und flüssiges Gießen.

In der Arbeit von D a e v e s [9)] wird ein Einfluß der Gießtemperatur nicht deutlich erkennbar, in den ergänzenden Zahlen von Ristow überhaupt nicht gefunden. Es sei daher darauf hingewiesen, daß schon bei verhältnismäßig geringer Aenderung der Grenzen der subjektiven Maßgenauigkeit die Werte von beiden Seiten sich überschneiden können. Ferner sei erwähnt, daß in vorliegender Arbeit nur die einwandfrei unter denselben Bedingungen vergossenen Schmelzen zum Vergleich herangezogen sind. So wurden z.B. die ohne Zwischenwanne vergossenen Schmelzen fortgelassen. Es erscheint ja insofern gerade bei der Gießtemperatur sehr leicht möglich, daß ihr Einfluß durch denjenigen anderer Einflüsse (u.a. ist hier auch an ein verschiedenes Blockformat zu denken) überdeckt wird, als die „mittleren Temperaturen" der Schmelzen nur in einem sehr engen Intervall, im vorliegenden Falle etwa 30°, schwanken.

10. Die Blockgröße.

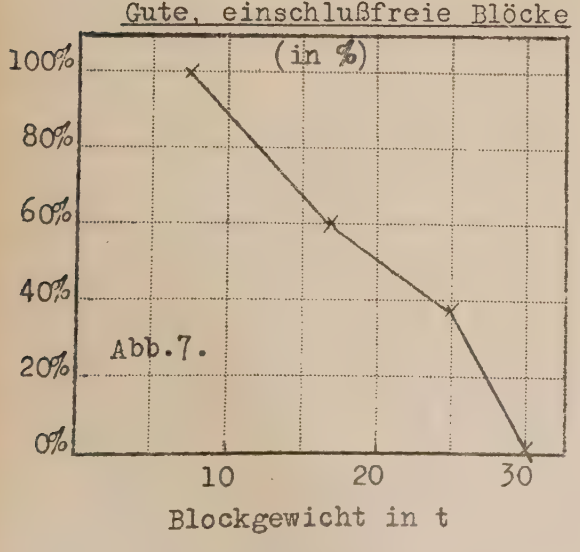

Abb.7.

Trotzdem der größte Teil der Blöcke (67%) aus 25 t-Blöcken besteht, kommt in Abb.7 ein Einfluß der Blockgröße doch zum Ausdruck, indem mit der Größe der Blöcke die Einschlußgefahr eindeutig zunimmt. Es mag dies damit zusammenhängen, daß mit grösserer Stahlmenge infolge der längeren Gießzeit auch die Schwierigkeit, in einem bestimmten, engen Temperaturintervall zu vergießen, größer wird.

31) Beitter, St. u. E. 48 (1928) S.577.

11. Die Verteilung der Einschlüsse.

In Uebereinstimmung mit früheren Untersuchungen von D i c k e n s o n [32], B e n e d i c k s [6] und Z i e l e r [33] wurden die meisten Einschlüsse im Blockfuß festgestellt. Ob hier die Sauerstoffaufnahme durch den längeren Gießstrahl verursacht, oder wahrscheinlicher die immer festgestellte etwas niedrigere Temperatur bei Beginn des Gießens als Ursache anzusprechen ist, sei dahingestellt.

Ferner wurde nach einer ziemlich sauberen äußeren Zone die größte Menge von Einschlüssen beobachtet, die beim weiteren Abdrehen geringer wurde, bezw. verschwand.

Diese Feststellungen stehen im Gegensatz zu den Angaben von P a c h e r [28], wonach die Schlackeneinschlüsse ziemlich gleichmäßig im Stahl verteilt sind und auch im geschmiedeten Zustand der ganzen Stahlmenge eigen bleiben. In größerer Menge sollen sie sich an matt gegossenen Blockstellen und im oberen Blockteil finden.

Zusammenwirken verschiedener Faktoren.

Für die Beurteilung der gewonnenen Erkenntnisse und insbesondere ihre praktische Anwendung, ist nun eine Untersuchung von großer Bedeutung, in welcher Weise die verschiedenen, als wichtig erkannten Faktoren, zusammenwirken. Eine solche Erörterung wird in vorliegender Arbeit dadurch sehr erleichtert, daß sämtliche Beobachtungen gut miteinander vergleichbar sind, da sie in einer Hand lagen.

In Abb. 8 ist eine Anzahl von Schmelzen herausgegriffen und in Abhängigkeit von den wirksamen, einflußausübenden Faktoren aufgetragen. Dabei sind die einzelnen Maßstäbe so gewählt, daß die in der Arbeit etwa als Grenzwerte für günstiges und ungünstiges Einhalten der Faktoren ermittelten Daten in die Mitte des Koordinatensystems in wagerechter Richtung fallen.

Im Beispiel 33 ist eine Schmelze angeführt, bei der alle Werte über der Mittellinie liegen. Sie sollte ein gutes Ergebnis liefern und fällt auch tatsächlich in Klasse 0. Beispiel 3 zeigt eine Schmelze, deren Werte sämtlich unterhalb der Grenzlinie verlaufen und in Klasse 2 gehört. Auch diese Schmelze ist als typisches Beispiel herausgegriffen. Die Werte der Schmelzen der Klasse 1 liegen zum Teil oberhalb, zum Teil unterhalb. (Siehe No.23). Aber auch beim größeren Teil der Schmelzen der Klassen 0 und 2 liegen die Werte auf der entgegengesetzten Seite (siehe No. 25, 4, 27, 28, 21). Bei diesen Kurven läßt sich der Einfluß der einzelnen Faktoren besonders gut erkennen. Nimmt man den Einfluß aller angeführten Faktoren annähernd als gleich groß an (was streng genommen nicht der Fall ist),

32) J.H.S.Dickenson, Iron and Steel Inst.113 (1926) S.177/211; vgl. St.u.E.46 (1926) S.1227/31.

33) Zieler, Arch.Eisenhüttenwesen 5 (1931/32) S.299.

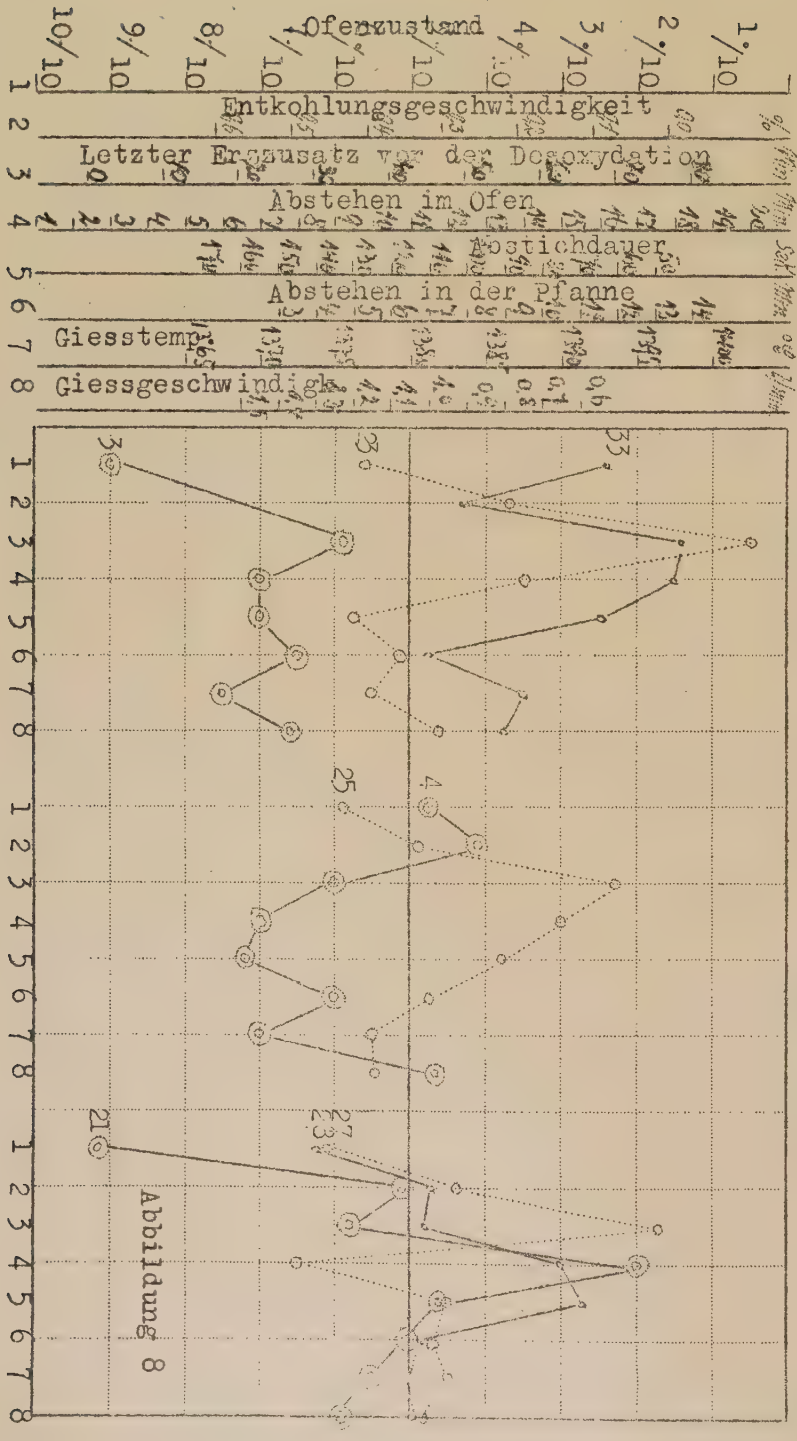

Abbildung 8

Zusammenwirken verschiedener Faktoren.

so ergibt sich bei Betrachtung aller vorhandenen Kurven, daß

bei Klasse 0: 0, 1 oder höchstens 2 Werte,
" Klasse 1: 2, 3 oder 4 Werte,
" Klasse 2: 4 oder mehr Werte

unterhalb der Grenzlinie liegen. Eine Schmelze, bei welcher bereits mehr als 4 Werte unterhalb liegen, läßt sich auch durch günstiges Einhalten aller anderen Einflüsse nicht mehr retten und wird mit allergrößter Wahrscheinlichkeit beim Weiterverarbeiten Einschlüsse aufweisen.

Zusammenfassung.

In der vorliegenden Arbeit wird festgestellt, daß das Ofenalter, die Schmelzdauer, die Entkohlungsgeschwindigkeit, der Zeitpunkt des letzten Erzzusatzes vor der Desoxydation, der Zeitpunkt der Desoxydation vor dem Abstich, das Abstehen der Schmelze im Ofen, die Abstichgeschwindigkeit, das Abstehen in der Pfanne, die Gießtemperatur und Gießgeschwindigkeit beim Auftreten von Einschlüssen beteiligt sind.

Die gemessenen Einflüsse sind z.T. chemischer, z.T. physikalischer Natur. Soweit sie chemischer Natur sind, überwiegen die Größen, die mit dem zeitlichen Verlauf der Reaktionen zu tun haben, also Reaktionsgeschwindigkeiten. Soweit die maßgebenden Faktoren physikalischer Natur sind, handelt es sich auch wesentlich um Größen, die den zeitlichen Ablauf der Prozesse bestimmen, wie Gießtemperatur, Gießgeschwindigkeit,(Viskosität).

Die Betrachtung, welche Zahl ungünstig wirkender Momente notwendig ist, um Einschlüsse in erheblicher Menge hervorzurufen, zeigt, daß in der Regel mehrere der genannten Faktoren ungünstig liegen müssen, damit der Effekt eintritt, und ebenso wird Freiheit von Einschlüssen nur dadurch erzielt, daß möglichst viel wirksame Faktoren einen günstigen Sinn haben.

Auf Grund eingehender Verfolgung der Herstellbedingungen ist man in der Lage, bereits vor der Weiterverarbeitung eines Blockes anzugeben, ob und in welcher Menge Einschlüsse zu erwarten sind. Nach diesem Befund können geeignete Maßnahmen ergriffen, der entsprechende Block evtl. für andere Zwecke verwendet und dadurch das Risiko eines Ausfalles, nachdem bereits hohe Bearbeitungskosten auf dem Stück liegen, ganz erheblich vermindert werden.

L e b e n s l a u f .

Der Verfasser wurde am 16. September 1902 in Birkenhain, Kreis Beuthen O.S. geboren. Nach Absolvierung der Oberrealschule zu Beuthen O.S. war er ein halbes Jahr lang in Hüttenbetrieben praktisch tätig. Im Oktober 1923 begann er sein hüttenmännisches Studium an der Technischen Hochschule Breslau. Nach dessen Beendigung und weiterer einjähriger praktischer Tätigkeit in mehreren westdeutschen und oberschlesischen Betrieben erwarb er Anfang März 1930 den Grad eines Diplom-Ingenieurs in der Fachrichtung Eisenhüttenkunde. Seit dem 1. April 1930 ist er im Stahlwerksbetriebe und der Versuchsanstalt der Vereinigten Oberschlesischen Hüttenwerke A.G. Gleiwitz O.S. beschäftigt, wo er auch vorliegende Arbeit ausgeführt hat.